Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 91/92 (1928)

Heft: 13

Artikel: Die Maag-Zahnformen und ihre Herstellung mit einem normalen 15-flankigen Werkzeug

Autor: Brandenberger, Heinrich

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-42581

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.10.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Unterwasser entleeren kann. Die vier vertikalachsigen Peltonturbinen von Escher Wyss & Cie. sind bemessen für je 30 000 PS; sie haben je zwei Düsen von 175 mm Mündungsweite, bei einem Wasserdruck von rund 550 m, Raddurchmesser 2225 mm und rd. 500 Uml/min. Die Generatoren liefert die Maschinenfabrik Oerlikon, die zugehörigen Transformatoren Brown, Boveri & Cie., Baden. Der auf 50 kV auftransformierte Strom gelangt zunächst durch einen rund 5 km langen Kabelstollen nach Guttannen und von hier über eine 7 km lange Freileitung nach der Schalt- und Transit-Transformatorenstation Innertkirchen. Diese wird als Freiluftstation ausgebildet (Abb. 18), wobei aber in neuartiger Weise alle Steuerorgane und übrigen Apparate in einem daneben stehenden Gebäude vereinigt sind, das durch begehbare unterirdische Kanäle mit dem Freiluftstandort der Transformatoren verbunden ist. Die Hochbauten in Handeck wie in Innertkirchen sind nahezu vollendet, das erste Maschinenaggregat ist ebenfalls demnächst fertig montiert.

Für alle Hochbauten befleissigte sich die Bauleitung grosser Sachlichkeit bei dauerhaftester Ausführung in Granitmauerwerk der Sichtflächen und Eisenbeton für die innern Konstruktionen. Ueberhaupt erfreut der ganze, weitläufige und vielgestaltige Bau den Besucher durch seine gediegene Ausführung nicht weniger, als er dem Fachmann eine Fülle des Interessanten und Neuen bietet.

Aber auch von Seiten der Unternehmerschaft wird augenscheinlich sehr Tüchtiges geleistet, weshalb hier die wichtigsten Unternehmer noch kurz genannt seien, soweit es nicht schon geschehen ist. Für die Ausführung der Grimselsperren hat sich aus den Firmen Bürgi, Grosjean & Cie, O. & E. Kästli und A. Marbach in Bern, und J. Frutiger Söhne in Oberhofen ein Konsortium unter dem Namen „Bauunternehmung Grimsel-Staumauern A.-G." gebildet, deren Oberingenieur Ing. J. Hausammann ist. Der 5,2 km lange Verbindungsstollen Grimsel-Gelmersee, wie auch der schräge Druckschacht Gelmersee-Handeck wurden gebaut von der Unternehmung Losinger & Prader, während die Bauten für die Gelmersperre Unternehmer J. Seeberger in Frutigen ausführt. Der Kabelstollen wurde erstellt durch Hoch- und Tiefbau-A.-G. (Bern), J. J. Rüegg (Zürich) und B. Zuccotti (Interlaken), die meterspurige Anschlussbahn Meiringen-Innertkirchen mit 1,5 km langem Tunnel wieder durch Losinger & Prader.

EIN FEST DER ARBEIT.

An diesem Orte verdient eine ungewöhnliche aber durch die nähern Umstände durchaus gerechtfertigt erscheinende Veranstaltung besonderer Erwähnung. Die L. v. Rollschen Eisenwerke Gerlafingen, als Konstrukteure und Ausführende des weitaus grössten Teils der Baumaschinen und mechanischen Installations-Einrichtungen, der Standseilbahn Handeck-Gelmer, der grossen automatischen Rohrabschlüsse, Drosselklappen und Schieber für die Apparatekammer, die verschiedenen Grundablässe und die Verteilleitung der Zentrale Handeck, sodann verschiedener Winden und Krane (bis zu 120 t Tragkraft, in Innertkirchen) u. a. m. hatten auf den 7./8. September d. J. eine Anzahl Ingenieure, Vertreter schweizerischer Grossbaufirmen, Professoren der E. T. H. und Auslandvertreter der Firma zu einer eingehenden Besichtigung der Baustellen eingeladen. Die stattliche Gesellschaft wurde begrüsst von Generaldirektor Dr. Ing. E. Dübi, der darauf hinwies, dass dank der verständnisvollen Zusammenwirkung von Bauleitung (Oberingenieur A. Kaech) und der Bau-Unternehmung (Obering. J. Hausammann und Masch.-Ing. J. Hörnlimann) mit den Maschinen-Konstrukteuren es hier an der Grimsel zum ersten Mal gelungen sei, sozusagen für alle wichtigen Teile der Installationen anstelle der früher verwendeten ausländischen Fabrikate *Erzeugnisse schweizerischer Industrie* zu verwenden. Obering. A. Kaech erläuterte sodann den ganzen Bau und seine Ausführung und anerkannte seinerseits den vollen Erfolg der eben erwähnten schweizerischen Industrie-Erzeugnisse. Der Freude hierüber galt der sehr gelungene gesellige Teil der aufschlussreichen Veranstaltung, und dieser Freude gab zum Schluss auch Schulratspräsident Prof. Dr. A. Rohn beredten Ausdruck: die *Qualitätsarbeit,* von jeher die Stärke der schweizerischen Industrie und insbesondere unserer Maschinen-Industrie, hat auch auf diesem Gebiet der Baumaschinen zum Erfolg geführt, der sich nicht nur im Inland, sondern auch im Export noch weiterhin entwickeln möge! C. J.

Die Maag-Zahnformen und ihre Herstellung mit einem normalen 15°-flankigen Werkzeug.

Von Dr. Ing. HEINRICH BRANDENBERGER, Privatdozent a. d. Eidg. Techn. Hochschule, Zürich.

Wenn man von Maag-Zähnen spricht, so stellt man sich Zähne mit grösserem Eingriffswinkel, gedrungener Zahnform und gekürzter Zahnhöhe vor. Ihre Vorteile sind in verschiedenen Veröffentlichungen ausgeführt worden. Sie besitzen eine geringe Abnützung und sind wegen der gedrungenen Zahnform besonders widerstandsfähig gegen Bruch. Ueber ihre Berechnung wurde jedoch nichts veröffentlicht, die Berechnung wird als Fabrikgeheimnis betrachtet. Der bisherige Erfolg hat Maag recht gegeben; man hält vielfach die von Maag propagierte Zahnform als nur auf Maag'schen Hobel- und Schleifmaschinen herstellbar. Auf diese Weise sicherte er sich nicht nur für seine Maschinen, sondern auch für seine Zahnformen eine Monopolstellung. Seine Zahnformen lassen sich jedoch auch auf andern Abwälz-Hobel- oder Fräsmaschinen erzeugen, sofern sie ein zahnstangenförmiges Werkzeug besitzen. Dies trifft z. B. bei der Stirnradfräsmaschine zu, die mittels eines Abwälzschneckenfräsers arbeitet.

Wesentlich für die Herstellung der Maag-Zahnformen ist, dass die Zähne mit den verschiedenen Eingriffswinkeln alle mit einem normalen 15°-flankigen Werkzeug geschnitten werden. Es kann nicht nur jeder gewünschte Eingriffswinkel erreicht werden, sondern statt dessen bei abnormalem Eingriffswinkel und spielfreiem Gang, in gewissen Grenzen, auch jeder beliebige Achsenabstand. Dieses letzte wird sogar in der Mehrzahl der Fälle von den Abnehmern der Zahnräder verlangt.

Je grösser man bei gegebenen Zähnezahlen eines Radpaares den Eingriffswinkel wählt, umso besser werden die Reibungsverhältnisse, umso kleiner wird aber auch die Eingriffsdauer. Die für die Reibung ungünstigsten Punkte sind die Grundkreispunkte, dort, wo die Eingriffslinie die Grundkreise der Zahn-Evolventen trifft. Zeichnet man im Teilrisspunkt C auf die Eingriffslinie einen senkrechten Vektor C C′, der die Geschwindigkeit des Eingriffspunktes auf der einen Zahnflanke vorstellen soll (Abbildung 1), so ist dieser Vektor auch gleich der Geschwindigkeit des Eingriffspunktes auf der andern Zahnflanke, da die Zahnflanken im Teilrisspunkt keine Gleitgeschwindigkeit aufweisen. Die Geschwindigkeit des Berührungspunktes der beiden Zahnflanken auf einer Zahnflanke, bei gleichförmiger Drehung der beiden Räder, ist proportional dem Abstande des Berührungspunktes vom Grundkreispunkte des betreffenden Rades. Verbindet man daher den Endpunkt C′ des Vektors C C′ mit den Grundkreispunkten G_1 bezw. G_2, so erhält man die Endpunkte der Vektoren jener Geschwindigkeiten, mit denen sich die Berührungspunkte in den betreffenden Punkten der Eingriffslinie auf den Zahnflanken bewegen. So z. B. ist u die Geschwindigkeit des mit P zusammenfallenden Berührungspunktes längs der Zahnflanke des Rades 1, v die Geschwindigkeit des Berührungspunktes längs der Zahnflanke des Rades 2. Der Vektor u ist ein Mass der sogenannten Rollung, der Vektor $v - u$ der Gleitung der Zahnflanken aufeinander.

Die Abnützung ist wegen des gleichbleibenden Zahndruckes und Reibungskoeffizienten direkt proportional der Gleitgeschwindigkeit $v - u$. Die spezifische Abnützung, d. h. die auf die Oberflächeneinheit der Zahnflanke eines Rades bezogene Abnützung, ist der Geschwindigkeit u bezw. v, mit welcher der Berührungspunkt auf der Zahnflanke wandert, umgekehrt proportional. Die spezifische Abnützung ist somit für Rad 1 proportional $(v - u)/u$, für Rad 2 proportional $(v - u)/v$. Die spezifische Abnützung wird also für Rad 1 in G_1, für Rad 2 in G_2 unendlich gross.

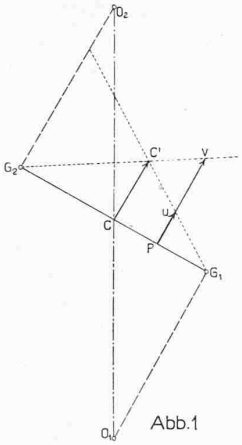


Abb.1

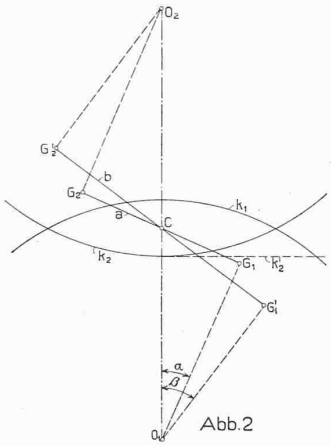


Abb.2

In Abbildung 2 mögen k_1 und k_2 die Kopfkreise der Räder 1 bezw. 2 vorstellen, die Geraden a und b die Eingriffslinien für die Eingriffswinkel α bezw. β. Man erkennt, dass je grösser der Eingriffswinkel wird, umso weiter die Grundkreispunkte G_1, G_1' bezw. G_2, G_2' von den Kopfkreisen k_2 bezw. k_1 wegrücken, weshalb die maximalen spezifischen Abnützungen $(v - u)/u$ bezw. $(v - u)/v$ umso kleiner ausfallen, je grösser der Eingriffswinkel ist. Mit zunehmendem Eingriffswinkel werden aber auch die zwischen den Kopfkreisen k_1 und k_2 gelegenen Strecken der Eingriffslinien und damit auch die Eingriffsdauer kleiner. Mit dem Vorteil einer geringern maximalen spezifischen Abnützung muss der Nachteil einer kleinern Eingriffsdauer in Kauf genommen werden. Bestimmte, bei allen Zähnezahl-Verhältnissen zu erreichende Werte lassen sich nicht aufstellen, da sich sowohl die Reibungsverhältnisse als auch die Eingriffsdauer umso ungünstiger gestalten, je kleiner die Gesamtzähnezahl beider Räder und je grösser das Uebersetzungsverhältnis werden. Maag hat seinen Ausmittelungen zwischen maximaler spezifischer Abnützung und Eingriffsdauer von Fall zu Fall einen Kompromiss zu Grunde gelegt. Da die Eingriffsdauer grösser als 1 sein muss, so wird sich im eingelaufenen Zustande die maximale spezifische Abnützung nicht auswirken, sondern in den Eingriffstellungen, wo die maximale spez. Abnützung auftritt, werden jeweils zwei Zähne im Eingriff sein. Wegen der Entlastung durch den zweiten Zahn ist diesem Kompromis eine geringere Bedeutung beizumessen. Wichtiger als die Vermeidung einer grossen spez. Abnützung ist die Vermeidung des sog. Unterschnittes.

Ein brauchbarer Eingriff kann bei der Evolventen-Verzahnung nur zwischen den beiden Grundkreispunkten G_1 und G_2 (Abbildung 1) auftreten. Würde nämlich die Zahnflanke des einen Rades (z B. entsprechend dem Kopfkreis k_2 in Abb. 2) den Grundkreispunkt G_1 des andern Rades überschreiten, dann sollte beim Gegenrad (Rad 1) der zweite Ast der Evolvente zur Ausbildung kommen, was praktisch unmöglich ist. Hierbei beschreiben die Punkte des einen Rades, die den Grundkreispunkt des andern Rades überschreiten, relativ gegen das zweite Rad Bahnen (Trochoiden, Abb. 3), die von den brauchbaren Zahnflanken Teile wegschneiden. Nach Schiebel ist der dadurch entstehende Verlust an brauchbarer Eingriffslänge (z. B. A G_1 in Abb. 3) ungefähr gleich der Hälfte der auf der verlängerten Eingriffslinie überschrittenen Strecke (G_1 B). Jener Punkt D der einen Zahnflanke (in Abb. 3 Punkt einer Zahnstange), der durch den Grundkreispunkt G_1 der andern Zahnflanke geht, beschreibt eine relative Bahn, die die Evolvente im Grundkreis bei G_1* tangiert. Da von allen, mit einem Rad im Eingriff befindlichen Rädern, die Zahnstange längs der Eingriffslinie am weitesten vordringt (k_2' gegen k_2 in Abb. 2), so haben wir in allen Fällen, wo wir die Herstellung eines Rades nach dem Abwälzverfahren mittels eines zahnstangenförmigen Werkzeuges vornehmen, den Unterschnitt bei der Herstellung durch die Zahnstange zu vermeiden, gleichgültig wie gross das Gegenrad auch ist.

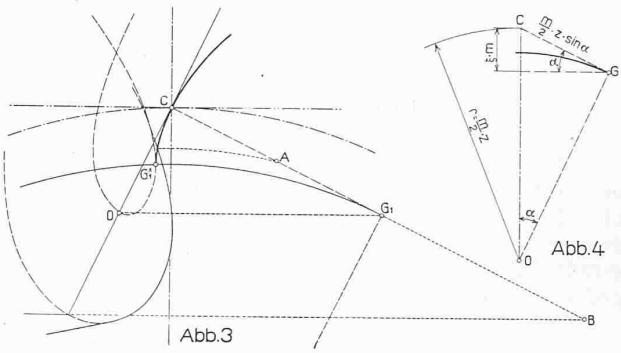


Abb.3 Abb.4

In Abbildung 4 sei O C der Teilkreisradius $r = m\,z/2$, wobei m der Modul und z die Zähnezahl des Rades sind. Es ergibt sich bei einem Eingriffswinkel von α (normal 15°), bei Unterschnittfreiheit, für den geraden Teil der Zahnstange laut Abbildung 4 eine zulässige maximale Tiefe $\xi\,m = {}^1/_2\,m\,z \sin^2 \alpha$. Es ist somit:

$$\xi = {}^1/_2\,z \sin^2 \alpha \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Bringen wir mit dem Rad eine Zahnstange in Eingriff, so wird diese, entsprechend Kopfhöhe = Modul, dann unterschnittfrei eingreifen können, wenn ξ des Rades gleich 1 ist.

$\xi = 1$ entspricht bei einem gegebenen α einer bestimmten Zähnezahl z_0, die wir Grenz-Zähnezahl nennen wollen, weil sie jene kleinste Zähnezahl vorstellt, bei der man ein Rad mit einer normalen Zahnstange (Kopfhöhe = Modul) noch unterschnittfrei in Eingriff bringen kann. Der Wert z_0 ist für jedes α verschieden und ergibt sich entsprechend $\xi = 1$ aus $1 = {}^1/_2\,z_0 \sin^2 \alpha$ zu:

$$z_0 = \frac{2}{\sin^2 \alpha} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

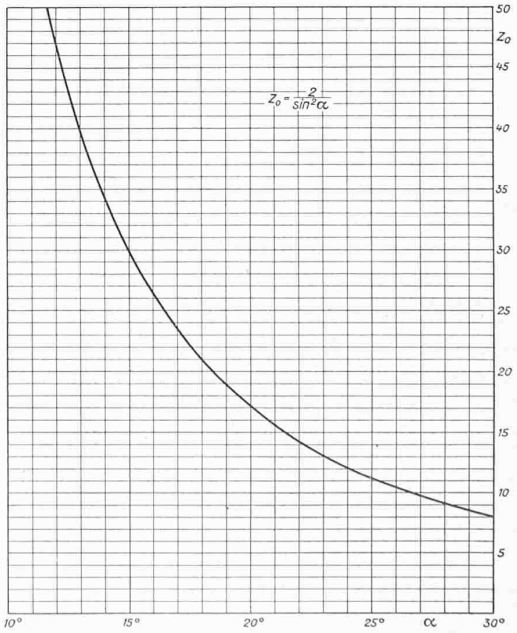
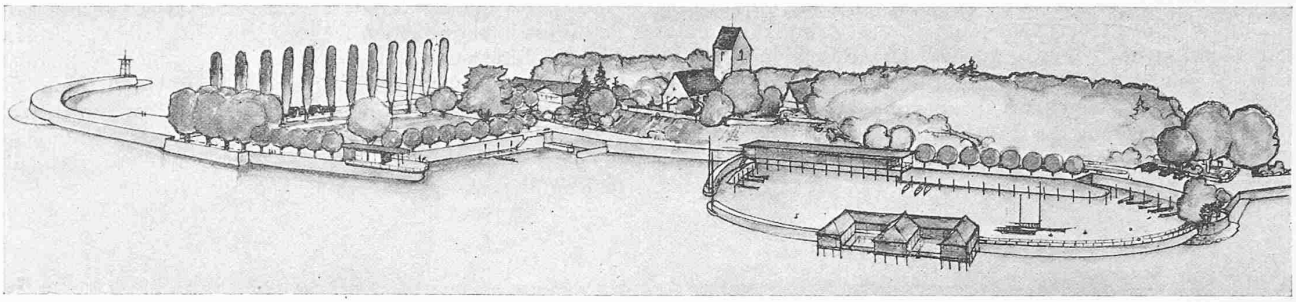


Abb. 5.

WETTBEWERB FÜR DEN AUSBAU DES SEEUFERS BEI DER ALTEN KIRCHE IN ROMANSHORN.



I. Preis (1600 Fr.). Entwurf Nr. 6 „Krassin". — Verfasser Paul Büchi, Dipl. Arch., Amriswil. — Fliegerbild aus Nordost.

In Abbildung 5 ist der Zusammenhang zwischen z_0 und α durch eine Kurve dargestellt. Da die Abhängigkeit der Grenzzähnezahl z_0 vom Eingriffswinkel α eine eindeutige ist, so kann die zulässige maximale Tiefe ξ des geraden Teiles einer eingreifenden Zahnstange auch ausgedrückt werden durch

$$\xi = z \frac{\sin^2 \alpha}{2} = \frac{z}{z_0}, \quad \ldots \ldots \quad (3)$$

Abbildung 6 stellt das erzeugende Zahnstangenprofil einer Evolventenverzahnung dar. Die Linie f ist die Profilmittenlinie, für die die Zahnlücke und die Zahnstärke gleich gross sind. Der Kopf eines Radzahnes erhält eine Höhe gleich dem Modul, während die Fusstiefe eines Radzahnes, die gleich der Kopfhöhe des Werkzeuges ist, eine Grösse gleich $^7/_6$ Modul erhält, sodass ein Kopfspiel von $^1/_6$ Modul auftritt. Bedingung für den richtigen Eingriff zweier Zahnräder ist, dass das eine Rad auf der einen Seite eines erzeugenden Rades, z. B. auf der Seite A (Abbildung 6), das zweite Rad auf der andern Seite B des selben erzeugenden Rades abgerollt wird. Hierbei hat noch für ein beliebig ausgestaltetes Zahnprofil des erzeugenden Rades die Abwälzung der beiden Räder auf ein und derselben Geraden f oder g zu erfolgen. Da bezüglich der Profilmittenlinie die Zahnstärke gleich der Zahnlücke ist und die Profile gerade Linien sind, so kann man für die Seiten A und B, also für die Erzeugung beider Räder, ein und dasselbe Werkzeug verwenden. Man bringt vielfach am Kopf des Werkzeuges eine Abrundung der schneidenden Kante an. Die Tiefe des geraden Teiles der Schneidkante des Werkzeuges bezeichnen wir mit $\varphi\, m$ (Abbildung 6). In allen Fällen, wo dieser Wert grösser ist

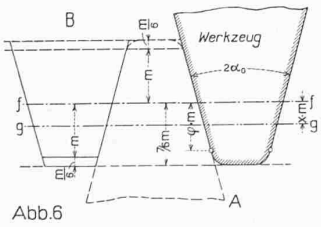


Abb.6

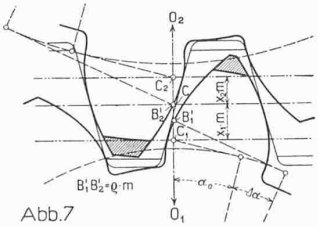


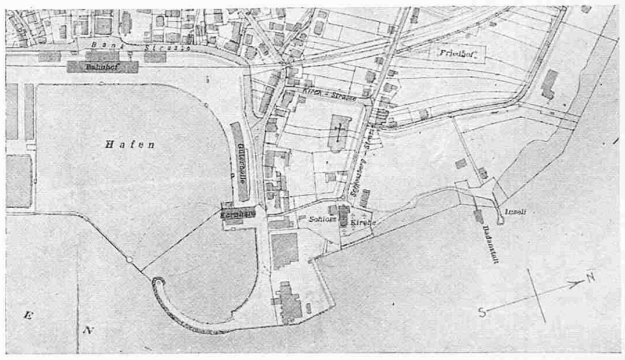
Abb.7

als die zulässige maximale Tiefe des geraden Teiles der Zahnstange für Unterschnittfreiheit ($\xi\, m$), darf nicht die Profilmittenlinie f als Wälzgerade herangezogen werden, sondern eine um einen Betrag $x\, m$ abstehende parallele Gerade g. Die Verschiebung der Wälzgeraden von f nach g wird als Korrektur bezeichnet. So korrigierte Räder sind theoretisch exakt hergestellt und liefern einen vollkommen richtigen Eingriff. Der Betrag, um den die Wälzgerade gegenüber der Profilmittenlinie verschoben werden muss, ergibt sich aus

$$x\, m = \varphi\, m - \xi\, m$$

Weiter ist nach Gleichung (3)

$$x = \varphi - \frac{z}{z_0} \quad \ldots \ldots \quad (4)$$



Lageplan des Hafens im gegenwärtigen Zustand. — 1 : 10000.

Unterschnittfreiheit ergibt sich ohne Korrektur bei einer Zähnezahl z', entsprechend $x = 0$ errechnet, aus $0 = \varphi - \frac{z'}{z_0}$ zu

$$z' = z_0\, \varphi \quad \ldots \ldots \quad (5)$$

Wie man aus Abbildung 6 erkennt, verursacht jede Verminderung der Zahntiefe des einen Rades eine Vermehrung der Zahntiefe des andern um den gleichen Betrag.

Bei einem Radpaar mit den Zähnezahlen z_1 und z_2 seien

$$z_1 < z_0\, \varphi < z_2.$$

Die für Rad 1 notwendige Korrektur ist:

$$x_1 = \varphi - \frac{z_1}{z_0},$$

die für Rad 2 noch zulässige Korrektur:

$$x_2 = \varphi - \frac{z_2}{z_0}.$$

Hierbei ist x_1 ein positiver und x_2 ein negativer Wert. Der Grenzfall, wo die für das Rad 1 notwendige Korrektur beim Rad 2 eben noch zulässig ist, wird dann eintreten, wenn $x_1 = -x_2$ oder $x_1 + x_2 = 0$ ist, also wenn

$$\varphi - \frac{z_1}{z_0} + \varphi - \frac{z_2}{z_0} = 0$$

$$\frac{z_1 + z_2}{2} = z_0\, \varphi = z' \quad \ldots \ldots \quad (6)$$

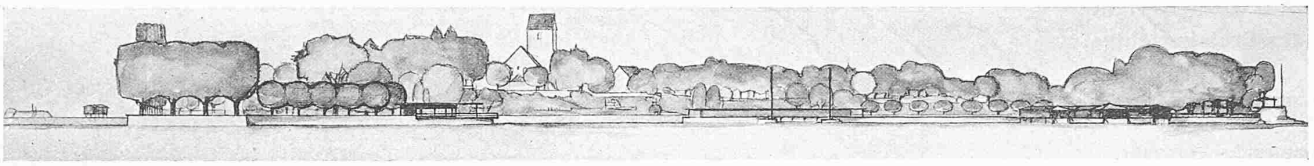
Ein Beispiel möge die praktische Anwendung des Gesagten zeigen. Ein Zahnradgetriebe $z_1 : z_2 = 20 : 45$ sei mit einem zahnstangenförmigen Werkzeug unterschnittfrei herzustellen. Das Schneidwerkzeug habe einen Flankenwinkel $\alpha_0 = 15^0$ und eine gerade Schneidkante von der Tiefe $\varphi = 1$ (siehe Abbildung 6). Entsprechend dem Winkel $\alpha_0 = 15^0$ ist $z_0 = 30$ (siehe Abbildung 5). $z' = \varphi\, z_0$ ergibt sich wegen $\varphi = 1$ zu $z' = 30$. Da $z_m = {}^1/_2\, (z_1 + z_2) = {}^1/_2 \cdot (20 + 45) = 32{,}5$, d. h. grösser als z', ist es möglich, das Radpaar ohne Unterschnitt, bloss durch Verlegen der Wälzgeraden im Bezugsprofil zu schneiden. Die notwendigen, bezw. zulässigen Korrekturen ergeben sich zu:

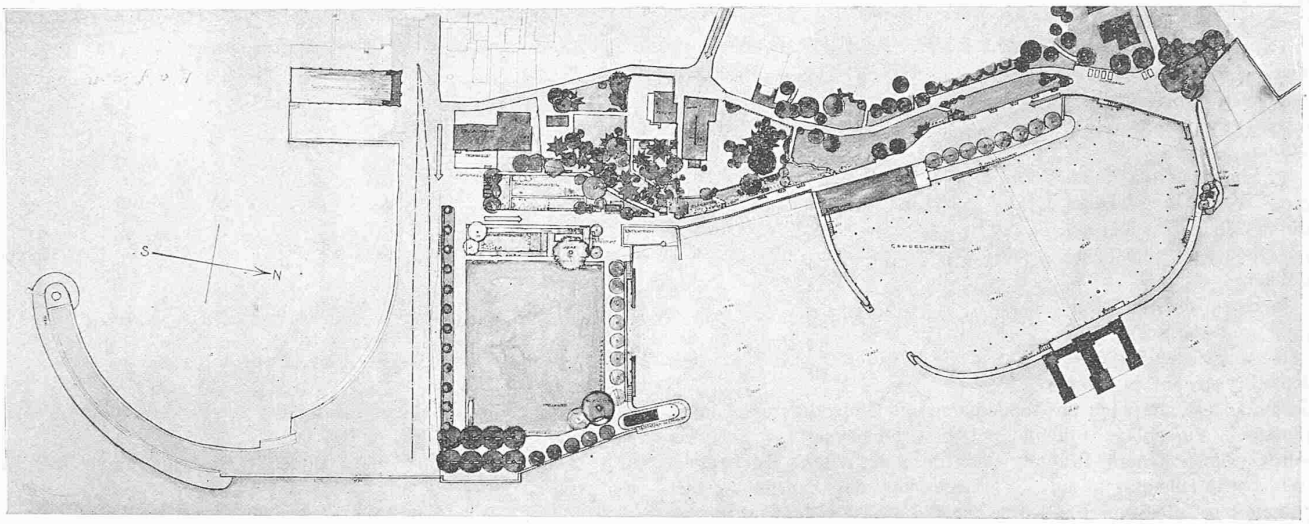
x_1 notwendig $= \varphi - z_1/z_0 = 1 - 20/30 = {}^1/_3$,

x' zulässig $= \varphi - z_2/z_0 = 1 - 45/30 = -{}^1/_2$.

Wir können also mit einer Verlegung der Wälzgeraden um $^1/_3$ Modul auskommen und führen aus: $x_1 = {}^1/_3$, $x_2 = -{}^1/_3$. Für Modul 6 ergeben sich folgende Abmessungen:

WETTBEWERB FÜR DEN AUSBAU DES SEEUFERS BEI DER ALTEN KIRCHE IN ROMANSHORN.





I. Preis (1600 Fr.). Entwurf Nr. 6 „Krassin". — Verfasser Paul Büchi, Dipl. Arch., Amriswil. — Lageplan 1 : 3000, Ansicht 1 : 2000.

Als Teilkreisdurchmesser $D_1 = z_1\, m = 20 \cdot 6 = 120$ mm
$D_2 = z_2\, m = 45 \cdot 6 = 270$ mm
als Korrektur $x\, m = {}^1/_3 \cdot 6 = 2$ mm
als Kopfhöhe normal $= m = 6$ mm
als Fusstiefe normal $= {}^7/_6\, m = 7$ mm

korrigiert:	des kleinen Rades	des grossen Rades
Kopfhöhe	$= 6 + 2 = 8$ mm	$= 6 - 2 = 4$ mm
Fusstiefe	$= 7 - 2 = 5$ mm	$= 7 + 2 = 9$ mm

Als Aussendurchmesser
$D_{1a} = D_1 + 2$ Kopfhöhe $= 120 + 16 = 136$ mm
$D_{2a} = D_2 + 2$ Kopfhöhe $= 270 + 8 = 278$ mm

Wird die Herstellung auf einer Räderfräsmaschine mittels eines Abwälzschneckenfräsers vorgenommen, so werden die Teilwechselräder ebenso berechnet wie bei einer normalen Verzahnung; wieder muss einer Umdrehung des Rades z_1 bezw. z_2 Umdrehungen des Fräsers entsprechen. Die Zahnräder erhalten die gemäss der Korrektur abnormalen Aussendurchmesser. Die Einstellung des Schneckenfräsers und des Rades erfolgt so, dass man zuerst den Fräser aussen berühren lässt, am besten während des Laufens der Maschine, dann den Fräser hochkurbelt und das Rad um die Zahntiefe laut einem auf dem Bettschlitten angebrachten Masstab mit Nonius näher kurbelt. Eine allfällige Differenz des Aussendurchmessers des Rades gegenüber der Zeichnung muss bei der Einstellung der Zahntiefe berücksichtigt werden. Die richtige Abwälzung ergibt sich von selbst, da sich stets jener Kreis des Zahnrades als Erzeugungswälzkreis ausbilden wird, der der Teilung des zahnstangenförmigen Werkzeuges entspricht. Da alle zur Profilmittenlinie parallelen Geraden des zahnstangenförmigen Werkzeuges die selbe Teilung aufweisen, gelangt stets der Teilkreis des Rades zur Abwälzung.

Nicht so einfach ist es, Unterschnittfreiheit zu erreichen, wenn die mittlere Zähnezahl ${}^1/_2\,(z_1 + z_2)$ kleiner als $z_0\, \varphi$ ist. Wir nehmen z. B. an, wir haben ein Radpaar herzustellen, bei dem sowohl z_1 als auch z_2 kleiner als $z_0\, \varphi$ sind. Die für Unterschnittfreiheit notwendigen Korrekturen $x_1 = \varphi - z_1/z_0$ und $x_2 = \varphi - z_2/z_0$ werden sich für beide Räder positiv ergeben. Stellen wir nun jedes Rad unabhängig vom andern mit diesen Korrekturen her, so werden die Zahnflanken, wenn man die Räder in das Bezugsprofil hinein legt, sich nicht mehr berühren, sondern ein Flankenspiel aufweisen (Abbildung 7). Hierbei ist der Achsenabstand der beiden Räder gegenüber der normalen um $x_1\, m + x_2\, m$ grösser. Da ein spielfreier Eingriff der Zahnflanken für neu einzubauende Räder unbedingt gefordert wird, ist ein zusätzliches Näherrücken der beiden Räder notwendig. In Abbildung 7 geht durch C die Profilmittenlinie der erzeugenden Zahnstange, durch C_1 die Erzeugungswälzgerade für das Rad 1, durch C_2 die Erzeugungswälzgerade für das Rad 2. Da die Erzeugungswälzgeraden mit den Teilkreisen der Räder zur Abwälzung gelangen, sind $O_1\, C_1$ bezw. $O_2\, C_2$ die dem Flankenwinkel α_0 des Werkzeuges entsprechende Teilkreisradien. Der Betrag, um den die beiden Räder für spielfreien Eingriff zusammengerückt werden müssen, möge mit $\varrho\, m$ bezeichnet werden. Das Zusammenrücken der beiden Räder bewirkt eine Verkleinerung des Kopfspieles um den gleichen Betrag, sodass man, falls das normale Kopfspiel zu ${}^1/_6$ Modul aufrecht erhalten werden soll, die Kopfhöhe beider Räder ebenfalls um $\varrho\, m$ kürzen muss. Die endgültige Achsenabstand-Vergrösserung gegenüber normalen Zahnrädern ist somit

$$x_1\, m + x_2\, m - \varrho\, m = \lambda\, m.$$

Nach dem Zusammenrücken beider Räder berühren sich die beiden Zahnflanken in B_1' bezw. B_2'. Hierbei entsteht gegenüber α_0 ein um $\Delta\alpha$ geänderter Eingriffswinkel.[1]) Der Eingriff beider Räder ist dabei ein richtiger, d. h. die Bewegungsübertragung durch die Zahnflanken entspricht dem Verhältnis der Zähnezahlen, weil das Verhältnis der Grundkreise beider Räder für die Bewegungsübertragung massgebend ist, und dieses dem Uebersetzungsverhältnis der beiden Räder gleich ist. Die Teilung im Grundkreise der Evolventen ist nämlich stets gleich der Teilung längs der Eingriffslinie und somit gleich dem Normalabstand zweier aufeinanderfolgender entsprechender Zahnflanken der Zahnstange. Dieser Eigenschaft der Evolventenzähne ist es auch zu danken, dass man die Achsdistanz zweier Räder ändern kann, ohne die richtige Bewegungsübertragung der Zahnflanken zu stören. (Schluss folgt.)

[1]) In Abbildung 7 fällt C zufällig mit B_2' zusammen.